

複合音のマスキングに関する研究

著者	鈴木 陽一
号	814
発行年	1980
URL	http://hdl.handle.net/10097/9550

氏 名	鈴 木 陽 一
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 56 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	複合音のマスキングに関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 曾根 敏夫
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 曾根 敏夫 東北大学教授 城戸 健一 東北大学教授 清水 洋 東北大学教授 丸山 欣哉

論 文 内 容 要 旨

我々がある音を聴取しようとする際に，その音の聴取が他の音の存在によって妨害を受ける現象，即ちマスキングに関する研究は古くから存在するが，それらのほとんどは目的とする音として純音を用い，この音の最小可聴限が妨害音によってどのように変化するかを扱ったものである。しかし，我々が実際に日常生活において聴取する音のほとんど全てが複合音であることを考えれば，純音に比べて複雑な構造を持ったこのような音のラウドネスあるいは音色が，マスキングによってどのような影響を受けるかを明らかにすることは重要であると言えよう。

本論文は以上のような観点から，複合音のマスキングについて，心理物理学的（psycho-physical）手法を用いて検討を行い，複合音のラウドネス及び音色が妨害音によって受ける影響と，その影響を補償するための条件について詳細に研究した結果をまとめたもので全編5章から成る。

第1章 序 論

本章では，聴覚のマスキング現象ならびに複合音のラウドネスと音色について現在まで得られている知見を概観して，本研究の背景を明らかにし，さらに，本研究の動機及び意図について述べた。

第2章 複合音のマスクトラウドネスとマスキングによる音色の変化

純音のマスクトラウドネスは、マスクが存在しない時の純音本来のラウドネスから、マスクが存在する時の閾値のラウドネスを引き去った形で与えられる¹⁾。複合音についても、そのマスクトラウドネス S_m は純音の場合の拡張として次式のように表わされると考える。

$$\begin{aligned} S_m &= \sum_i S_m^i \\ &= \sum_i k_i (I_i^{\alpha_i} - I_{thri}^{\alpha_i}) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 S_m^i は複合音の各成分のマスクトラウドネス、 α_i と k_i は音の強さとラウドネスを関係づける定数で、 I_i は第 i 成分の音の強さ、 I_{thri} は他の全ての成分とマスクが存在する時の当該成分の閾値である。

本章では、この(1)式の妥当性について、心理物理学実験をとおして検討を加えた。実験にあたっては複合音として、500 Hz、1 kHz、1.5 kHz の3つの周波数のうち、2ないし3つの成分を持つものを用いた。又、マスクとしては、300 Hz から 2.4 kHz までの帯域を持つ広帯域雑音と、1/3あるいは1/1オクターブ帯域の狭帯域のものを用いた。実験の結果、マスクが広帯域で、それ自体にピッチが知覚できない場合には、上式は実験結果と良い適合を示すことが明らかとなった。このような良い適合は、複合音の成分数が2でも3でも、又、成分の周波数の組合せによらず得られる。しかし一方、マスクが狭帯域の場合には、複合音のマスクトラウドネスは(1)式による見積りより、大き目に判断される。これはマスクがそれ自体でピッチを持ち、複合音と雑音の峻別が困難となって、雑音のエネルギーの一部が、複合音に加算されて知覚されることによるものと考えられる。

以上のような実験結果に基づき、複合音が多く成分から成る一般の場合に、そのマスクトラウドネスは臨界帯域ごとのマスクトラウドネスの和で表わされると考えて、(1)式に変形を施し、より簡単に複合音のマスクトラウドネスを計算するための手法を与えた。

さらに本章では、複合音がマスキングを受けた時に、その音色がマスキングのない場合に最も近似するための条件を実験的に求め、検討を加えた。その結果、そのような条件は、マスクがどのようなものであれ、複合音を構成する各成分のマスクトラウドネスが、マスキングのない場合と同じになることであることを明らかにした。

第3章 騒音中における音楽の最適聴取レベル

本章及び次章では、前章までの議論に基づいて、目的となる音がより実際的な場合、即ち、我々が日常、目的音として聴取することの多い音楽及び音声の場合を取りあげて考察を行った。本章では、マスキングによる様々の効果のうち、音の大きさの変化に着目し、騒音の存在下でマスキングを受けた際の最適聴取レベルについて検討した。

マスクとして、走行中の乗用車の車内騒音を模したスペクトルを持つ、低域成分の優勢な騒音を用いて、音楽の最適聴取レベルを実験的に求めた結果、そのレベルは、騒音のレベルが55 dBA から 75 dBA の範囲にあっては、騒音レベルの1 dBの上昇に対して約0.3 dBの割合で大きくな

り、騒音レベルがこれより小さければこの割合は小さく、逆に騒音レベルがこれより大きく85 dBA程度の場合には約 0.4 dB になることが明らかになった。

このような実験結果は、第一義的には被験者が、たとえ騒音のレベルが変化しても、音楽の大きさ、即ち、マスクトラウドネスは変化しないように判断したものであろうとの仮説を立て、前章で述べた複合音のマスクトラウドネスの計算法にのっとって検討した結果、変動音である音楽のマスクトラウドネスの評価を、その音楽が聞こえていた区間のマスクトラウドネスの時間平均で評価すれば、その仮説は妥当であるとの結論を得た。

そこで、騒音のレベルが変化した時、信号のレベルを自動的に調節して、そのマスクトラウドネスを一定に保つような装置を設計する際の標準資料を作成するため、放送信号の平均スペクトルを有する仮想的な標準信号²⁾を設定し、そのマスクトラウドネス（言い換えれば Perceive Level）を計算して、それが騒音レベルの変化に対して一定となるようなコンターをシミュレーションによって求めた。この結果を図 1 に示す。このコンターの変化特性は、実験の結果とよく適合し、これをもって信号の最適聴取レベルの変化特性の標準となし得ることが示された。

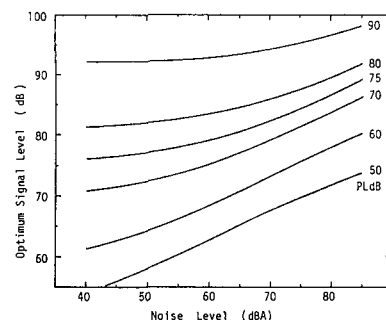


図 1 騒音レベルの変化に対して信号の Perceived Level が一定となるコンター

また、信号として音声を用いた場合についても、音楽の場合と同様な実験を行い、その最適聴取レベルの変化特性を求めたところ、その特性は音楽の場合と同様になることが明らかになった。このことから、音声について特別な考慮は不要と考えられ、従って図 1 に示した信号の最適聴取レベルの標準変化特性は、騒音の存在下の最適聴取レベルを考える際に一般的に利用し得るものである。

第 4 章 騒音中における音楽聴取時の音質の変化とその回復

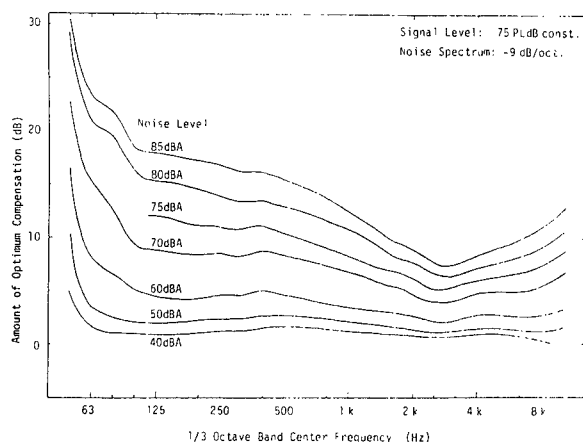
本章では、騒音中における音楽の聴取を、マスクングの観点から考える場合のいくつかの要因のうち、音質の変化とその補償を図る際の条件について検討を加えた。

音楽の周波数特性を、騒音によるマスクングの効果を考慮した形で表現するため、各 1/3 オクターブ帯域における音楽のマスクトラウドネスを、その帯域の音楽の本来のラウドネスから騒音が存在する場合の閾値のラウドネスを引き去った形で表わすラウドネス一周波数特性を求める手法を与えた。この時、音楽の時間的レベル変動を考慮するため、ラウドネスの評価量としては、前章の検討の結果最も適切な評価量とされた、音楽が聞こえている区間のラウドネスの時間平均を用いた。

音楽が最適聴取レベルである時に、音楽がどのような音質の変化を受けているかについて、音楽のラウドネス一周波特性を計算して考察した。その結果、実験に用いた騒音は低域が優勢であるとは言え、そのマスクングの影響は、低域ばかりでなく、広範囲に及ぶことが明らかになり、音質の補償を考えるためには低域から中域に及ぶ広い範囲の補償の必要性が示唆された。

この結果を基にして、1kHz以下の帯域を増強して音質の改善を図った際の、音楽の最適聴取レベルについて検討した結果、このような場合でも、音楽のマスクトラウドネスは変化しないようなレベルをもって最適と判断していることが明らかとなり、このことから、たとえ適切な周波数特性の補償を行っても、音楽の最適聴取レベルに対する判断には何ら影響がないとの知見を得た。そこで、音楽を騒音中で聴取する際に、単にそのレベルだけではなく、音質をも含めて最適化するための条件について考察するため、高いレベルの騒音下での音楽の音質が、騒音のレベルが低い場合の音質と最も良く近似するための補償条件について実験的に検討を行った。実験ではまず、1kHz以下の中・低域の最適補償量を求め、次いで、中・低域に最適補償量の補償を行った時の、6kHz以上の高域の最適補償量を求めた。これらの実験によって得られた最適補償を与えた時の音楽のラウドネス-周波数特性を計算したところ、いずれの帯域においても、その最適補償量は、臨界帯域程度の狭帯域ごとの音楽のマスクトラウドネスが本来の値に回復する点で与えられることが明らかとなった。

以上の結果を基にして、単に音楽のラウドネスだけでなく、その音質をも最適とするための周波数特性の補償条件は、このようなラウドネス-周波数特性が一定となることであると考え、前章と同様の標準信号に対してシミュレーションを行い、図2に示すような標準補償特性を求めた。これによって音量だけでなく、音質までも含めたより総合的な音質改善を行う際の標準資料を得ることができた。



第5章 結 論

本論文では以上のように、複合音を受けるマスキングの影響とその補償につい

て考察し、いくつかの重要な知見を得た。ここで得られた結果を要約すれば、複合音の大きさや音色は臨界帯域程度の狭帯域でのマスクトラウドネスが基本となって決定され、さらに、この狭帯域でのマスクトラウドネスは、マスキングのない場合のラウドネスから、閾値のラウドネスを引き去るという単純な形で表わし得ると言える。

図2 ラウドネス周波数特性の標準補償特性
(信号：75 PL dB 一定，騒音スペクトル：
-9 dB/oct)

参 考 文 献

- 1) Lochner, J. P. A. and Burger, J. F. : J. Acoust. Soc. Am. **33**, 1705 (1961)
- 2) CCIR Draft Rec (CMTT/336) (1978)

審 査 結 果 の 要 旨

信号音の聴取が他の音の存在によって妨害されるマスキング現象についての研究は古くから存在するが、雑音による純音の最小可聴限の移動を扱ったものが殆どで、複合音の音質の変化をも含めたマスキングについての研究はこれまで見当たらない。

本論文は、複合音を対象とし、そのラウドネス及び音質が妨害音によって受ける影響並びにその影響を補償するための条件について、心理物理学的手法を用いて詳細に研究した成果をまとめたもので、全編5章からなる。

第1章は序論で、本研究の背景を概観し、研究の動機及び意図を明らかにしている。

第2章では、まず、他の音によって妨害を受けたときの複合音のマスクトラウドネスの計算式を純音の場合の拡張として与え、その式の妥当性を、2または3成分からなる合成複合音が帯域雑音でマスクされた場合について実験的に検討している。その結果、妨害音が広帯域雑音の場合、この計算式は良い近似を与えることを明らかにし、それを更に変形して、一般の複合音のマスクトラウドネスを計算するための手法を導いている。次に、マスキンを受けた複合音の音色が本来の音色に最も良く近似する条件を実験的に求め、それが各成分音のマスクトラウドネスを一定に保つことであることを明らかにしているが、これは新しい知見である。

第3章では、騒音中での音楽及び音声の最適聴取レベルを実験的に求め、最適レベルの判断は、騒音レベルの変化に対して信号音の平均的マスクトラウドネスを一定に保つように行われることを明らかにしている。更に、標準信号音のスペクトルを設定し、騒音レベルに対する信号音の最適聴取レベルの標準的な変化特性を計算機シミュレーションによって与えている。

第4章では、騒音の存在下で音楽を聴取する場合の音質が、騒音が小さく殆どマスキングを受けないときの音楽の音質に近似するための条件を考察し、この条件は、臨界帯域程度の狭帯域ごとのラウドネスが回復することであることを実験的に明らかにしている。更にこの結果から、騒音中で信号音を聴取する場合の、ラウドネスと音質を含む総合的な標準補償特性を与え、音響再生システムの設計に有用な資料を提供している。

第5章は、結論である。

以上要するに、本論文は複合音が妨害音によってマスクされる場合の複合音のラウドネス及び音質の受ける影響とその補償条件について、心理物理学的手法を用いて詳細に研究し、それらの影響は臨界帯域程度の狭帯域ごとのマスクトラウドネスを基本として説明できることを明らかにすると共に、その補償の最適条件を導き出したもので、音響工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。